

зауважити, що виробники натуральної шкіри використовують більш безпечні сполуки трьохвалентного хрому. Токсичний шестивалентний хром у вигляді хроматів та біхроматів може бути використаний для синтезу хромових дубителів; шестивалентний хром може утворюватись під дією температури, сонячного світла із хромвмісних побічних продуктів шкіряного виробництва та безконтрольно злитих у каналізацію дубильних відпрацьованих розчинів. Зважаючи на те, що хром шестивалентний відносять до 1 класу небезпечних сполук, а хром трьохвалентний – до третього, інструментами обмеження використання цих сполук є низка нормативних актів, стандартів та рекомендацій. Так, вміст сполук хрому у товарах, вироблених із натуральної шкіри, регулює Регламент EU's REACH [1]. Групою Всесвітнього Банку разом Міжнародною Фінансовою корпорацією IFC розроблено «Керівництво з охорони навколишнього середовища» [2], що включає технічні довідники та належні приклади галузевої міжнародної практики. Керівництвом рекомендовано шкіряним заводам для підвищення екологічності дубильних процесів використовувати (за можливості) альтернативні дубильні сполуки; частково замінити хромовий дубитель іншими дубильними агентами; повторно використовувати відпрацьовані дубильні розчини; повністю відмовитись від використання хрому шестивалентного; відмовитись від знищення шламів хромового дублення спалюванням. Зважаючи на те, що сполуки важких металів, в т.ч. і хрому, не мають механізмів самоочищення і не піддаються трансформації, потрапляння їх у стічні води вкрай негативно впливає на екосистему. Нажаль спосіб очистки дубильних відпрацьованих розчинів рекуперацією та регенерацією сьогодні застарів і не використовується через низьку якість регенованих дубильних сполук та високу вартість самого методу.

Використання хромощадних технологій на сьогодні є одним з пріоритетних напрямів екологізації дубильних процесів на шкіряних підприємствах не залежно від територіальної приналежності. Напрямок передбачає обмежене використання хромових солей шляхом їх комбінації з дубильними сполуками інших металів (цирконію, алюмінію, титану) або органічними сполуками (рослинними та синтетичними дубителями, водорозчинними полімерами, аморфно-кристалічним полімером хітозаном), природними мінералами (бентонітом, цеолітом, каоліном) та їх дисперсіями. Сьогодні зацікавленість споживача у виробах з більш екологічної натуральної шкіри вимагає доволі суттєвих змін в традиційних схемах виробництва але відкриває нові можливості для бізнесу.

Література

1. REACH. – Режим доступу : <https://ec.europa.eu>
2. Керівництво з охорони навколишнього середовища, здоров'я та праці / IFC. – Режим доступу : <https://www.ifc.org/errorpage.html>

ПРО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРУВАННЯ СУСПЕНЗІЙ З УТВОРЕННЯМ ДИНАМІЧНОГО ШАРУ (ПОВЕРХНЕВЕ ФІЛЬТРУВАННЯ)

Поляков В.Л.

Інститут гідромеханіки НАН України, Київ, Україна, e-mail: polyakov_igm@list.ru

Вивчено аналітичними методами безвідривне фільтрування суспензій, які містять бі- або полідисперсну домішку. Її більш крупні частинки завдяки ситовому ефекту затримуються на спеціальній поверхні, що перфорована малими отворами. Таким чином формується і з часом розширюється шар фільтруючого матеріалу, в порах якого осаджується більша частина дрібних

завислих частинок. Їх мала частина, яка залишилась, вільно проходить через вищезгадані отвори. Протягом кожного робочого періоду такий динамічний шар утворюється заново, а в кінці його повністю змивається. Таким чином відпадає необхідність у регулярних промивках. Цей тип фільтрування, а саме, поверхневий, має і інші переваги перед традиційним об'ємним внаслідок неухильного зростання потужності робочого (динамічного) шару. Важливо відмітити, що при нисхідному фільтруванні його ділянки з більшим вмістом осаду розташовані нижче. Тим самим кольматант розподіляється в шарі суттєво рівномірніше, а тому втрати напору при поверхневому фільтруванні повинні збільшуватися явно повільніше, ніж при об'ємному. Основним же недоліком першого типу фільтрування є низька якість фільтрату на початковому його етапі через малість динамічного шару. Однак, зазвичай через короткий час, а потім вже до кінця робочого періоду внаслідок посилення захисної здатності вказаного шару проскок дрібних часток весь час скорочується і освітлена водна суспензія гарантовано відповідає вимогам до якості води. І закономірно, що поверхнєве фільтрування, яке в теперішній час успішно застосовується при зневодненні водонасичених осадів, в мембранних технологіях і т.ін., часто на практиці виявляється більш ефективним.

При математичному моделюванні поверхневого фільтрування серйозні труднощі виникають через переміщення однієї з границь області фільтрації. Вони поглиблюються при фільтруванні в другому режимі, стисливості фільтруючого матеріалу і осаду. В проведених теоретичних дослідженнях стисливість не враховувалась, а їх предметом стали обидва основних режими фільтрування. Тому були сформульовані і точно розв'язані дві математичні задачі, які відповідають цим режимам. При постійній швидкості фільтрування втрати напору в динамічному шарі монотонно зростають, а у другому через постійний перепад напорів (тиску) на його границях продуктивність фільтрувальної установки неминуче знижується.

Освітлювальний блок у вищезгаданих задач має подібний вигляд і включає рівняння масопереносу без врахування дифузійного механізму і безвідривної кінетики в загальній формі

$$V(t) \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial S}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \lambda(S)C, \quad (2)$$

де C, S – об'ємні концентрації дрібних завислих і осаджених часток суспензії; λ – функціональний коефіцієнт фільтрування. Принципове значення має умова на рухомій вхідній поверхні динамічного шару

$$z = l(t), \quad C = C_0. \quad (3)$$

При сталій швидкості фільтрування V_0

$$l(t) = \frac{V_0 C_l t}{1 - n_l} = a_l t. \quad (4)$$

де C_l – об'ємна концентрація крупних часток суспензії, n_l – пористість чистого динамічного шару. В другому режимі величина l заздалегідь невідома і повинна визначатися при розв'язанні другої задачі. Строгий розв'язок освітлювального блока має неявну форму і представляється відносно безрозмірних концентрацій \bar{C} і \bar{S} у вигляді наступних рівняння і формули

$$\bar{a}_l \int_0^{\bar{S}} \frac{d\zeta}{\bar{\lambda}(\zeta)(1 - \bar{a}_l \zeta)} = \bar{a}_l \bar{t} - \bar{z}. \quad (5)$$

$$\bar{C}(\bar{S}) = 1 - \bar{a}_l \bar{S}. \quad (6)$$

Фільтраційний блок містить рівняння руху і співвідношення, які характеризують гідравлічний опір динамічного шару і склад осаду в ньому,

$$V(t) = k(S_s) \frac{\partial h}{\partial z}, \quad (7)$$

$$k(S_s) = k_0 f_k(S_s), \quad (8)$$

$$S_s(S) = \gamma(S) S. \quad (9)$$

Тут h – п'єзометричний напір; k, k_0 – поточний і вихідний коефіцієнти фільтрації; S_s – об'ємна концентрація осаду; γ – емпіричний функціональний коефіцієнт, який описує співвідношення між вмістом осаду і частками суспензії в ньому. В результаті розв'язку (7)-(9) при заданому сталому напорі на нерухомій нижній границі даного шару виведена формула для приведенного напору \tilde{h} як функції від концентрації \bar{S}

$$\tilde{h}(\bar{S}) = \bar{a}_l \int_0^{\bar{S}} \frac{d\zeta}{\bar{\lambda}(\zeta)(1 - \bar{a}_l \zeta) \bar{k}(\zeta)}. \quad (10)$$

Знайдені точні розв'язки двох задач фільтрування суттєво неоднорідної суспензії через динамічний шар і прогностні залежності, які витікають з них, зокрема (5), (6), (10) послужили основою для методики технологічних розрахунків. Метою вказаних розрахунків є технологічні часи, а саме, початку ефективної захисної дії шару t_p і досягнення максимально допустимих втрат напору t_h (перший режим), або мінімально допустимої швидкості фільтрування (другий режим). У випадку $V = const$ відносний час \bar{t}_p зниження концентрації дрібних часток в фільтраті до нормативного значення \bar{C}_* пропонується обчислювати по формулі

$$\bar{t}_* = \int_0^{(1 - \bar{C}_*)/\bar{a}_l} \frac{d\bar{S}}{\bar{\lambda}(\bar{S})(1 - \bar{a}_l \bar{S})}. \quad (11)$$

Таким чином, час \bar{t}_p можна регулювати, змінюючи відповідним чином \bar{a}_l . Слід підкреслити, що з початку чергового фільтроциклу вихідна концентрація завісі неухильно знижується і тому при $t \geq t_p$ вона вже не є фактором, що лімітує фільтрування. Тоді визначальне значення для прийняття рішення про продовження або припинення освітлювального процесу набуває другий технологічний час (t_h). Він надійно розраховується при заданих гранично допустимих втратах напору в шарі $\Delta \bar{h}_*$ в два етапи. Спочатку знаходиться підбором параметр \bar{S}_{eh} із рівняння

$$\int_0^{\bar{S}_{eh}(\bar{a}_l)} \frac{d\bar{S}}{\bar{\lambda}(\bar{S})(1 - \bar{a}_l \bar{S}) \bar{k}(\bar{S})} = \frac{\Delta \bar{h}_*}{\bar{a}_l}, \quad (12)$$

а потім вже \bar{t}_h безпосередньо визначається по формулі

$$\bar{t}_h(\bar{a}_l) = \int_0^{\bar{S}_{eh}(\bar{a}_l)} \frac{d\bar{S}}{\bar{\lambda}(\bar{S})(1 - \bar{a}_l \bar{S})}. \quad (13)$$

Розроблений метод інженерного розрахунку поверхневого фільтрування ілюструвався рядом прикладів з типовими вихідними даними стосовно двох розглянутих режимів. При проведенні змістовного кількісного аналізу, предметом якого стали концентрації \bar{C} , \bar{S} , втрати $\Delta \bar{h}$, швидкість \bar{V} , положення рухомої границі l і часи \bar{t}_p , \bar{t}_h , були знайдені деякі закономірності, які властиві саме цьому типу фільтрування. Щоб наглядно продемонструвати специфічність поверхневого фільтрування, його переваги в технологічному відношенні,

проводилось систематичне співставлення результатів розрахунку його і традиційного об'ємного. Для базових емпіричних функцій $\bar{\lambda}(\bar{S})$, $f_k(\bar{S})$ вибрані характерні вирази, які дозволили акуратно врахувати обмеженість поглинального ресурсу динамічного шару, автокаталітичний ефект, прискорене зростання втрат напору в ньому при накопиченні осаду. Особлива увага зверталась на час \bar{t}_p , який чітко вказує на початок ефективного освітлення водної суспензії. Показано, що зазвичай початковий період поверхневого фільтрування із незадовільною якістю фільтрату короткочасний. Розподілення осаджених часток по висоті шару фільтруючого матеріалу при обох типах фільтрування суттєво відрізняються, про що свідчить рис.1. Тут наведені розрахункові профілі $\bar{S}(\bar{z})$ на різні моменти часу при типових значеннях коефіцієнтів, що характеризують поглинальну здатність шару, вміст крупних часток в суспензії (базовий приклад). В другому і четвертому прикладах вдвічі збільшувались вищезгадані здатність і вміст. В третьому додатково враховувався автокаталіз. Втрати ж напору зростають подібним чином, але суттєво повільніше при поверхневому. Зокрема, раціонально підбирався вміст структуроутворюючих часток в суспензії. При цьому встановлено, що вже при мінімальній їх кількості динамічний шар виявляється готовим до продуктивної роботи через короткий час. Крім цього, виявлено, що час \bar{t}_p , який грає важливу роль в алгоритмі управління технологічним процесом, явно більш чутливий до \bar{a}_l , а тому і \bar{C}_l при їх малих значеннях.

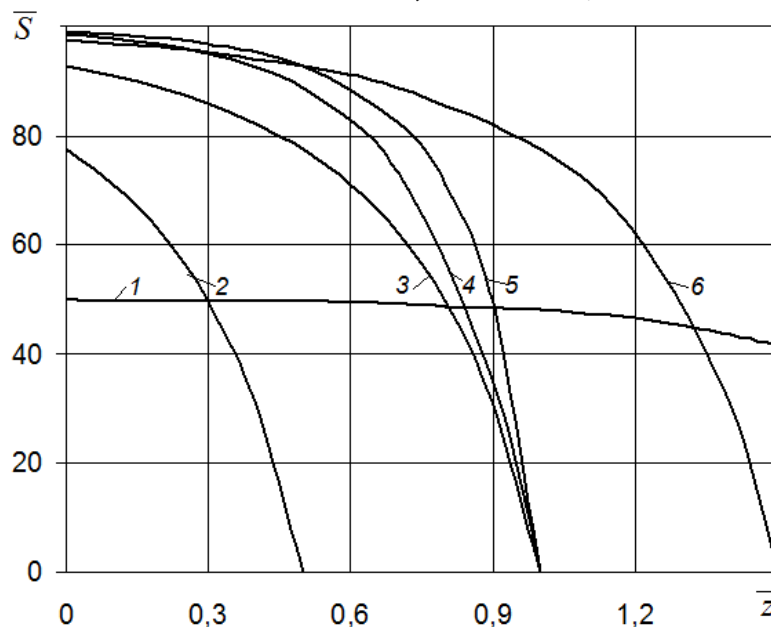


Рис.1. Профілі відносної об'ємної концентрації осаджених дрібних часток:
1, 3-5 – $\bar{t} = 100$; 2 – $\bar{t} = 50$; 6 – $\bar{t} = 150$; 1 – приклад 4; 2, 3, 6 – базовий приклад;
4 – приклад 3; 5 – приклад 2.